

**XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS E PARÂMETROS
GEOMÉTRICOS DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO**

Marília de Marco Brum, Daniela Guzzon Sanagiotto e Marcelo Giulian Marques

Instituto de Pesquisas Hidráulicas, IPH/UFRGS, Brasil

mariliademarcobrum@gmail.com, dsanagiotto@ufrgs.br, mmarques@iph.ufrgs.br

RESUMO: Em muitas localidades, as condições topográficas não permitem que o efluente sanitário escoe por gravidade na rede coletora até uma estação de tratamento de esgoto ou local de destinação final. Para sanar este problema, são construídas estações elevatórias com o objetivo de bombear a água residuária até uma cota mais elevada. A energia elétrica consumida em estações elevatórias representam 90% da energia empregada no setor de saneamento. A busca pela eficiência hidráulica e energética é uma das maneiras de conter a expansão do consumo de energia em estações de recalque através do estabelecimento de parâmetros ótimos de dimensionamento. Este trabalho visa apresentar os resultados preliminares do efeito da vazão de bombeamento, do número de acionamentos da bomba, do diâmetro e do comprimento da tubulação de recalque nos tempos de funcionamento da bomba, na potência necessária e na energia consumida para duas elevatórias de esgoto hipotéticas. Através das vazões afluentes às estações elevatórias e de volumes arbitrados para o poço úmido, foi possível dimensionar as estações elevatórias e realizar as simulações propostas. Os resultados demonstram que o menor consumo de energia é indicado nos maiores diâmetros e nas menores vazões de bombeamento, entretanto os tempos de operação da bomba se tornam mais elevados com o decréscimo dessa vazão. O esvaziamento do poço úmido é mais acelerado quando utilizadas maiores vazões, desse modo os tempos entre partidas da bomba se tornam menores e conseqüentemente há um aumento no número diário de acionamentos da bomba.

ABSTRACT: In many localities, topographic conditions do not allow the sanitary effluent flows by gravity in the collection network to a sewage treatment plant or final destination place. To remedy this problem, lifting stations are built in order to pump the wastewater to a higher elevation. The electric energy consumed in lifting stations represents 90% of the energy used in the sanitation sector. The search for hydraulic and energy efficiency is one of the ways to contain the expansion of energy consumption in booster stations by establishing optimum sizing parameters. The present work aims to present the preliminary results of the effect of the pump flow rate, the number of pump drives, the diameter and length of the settling pipe in the pump operating times, the power required and the energy consumed for two hypothetical sewage tanks. Through the inflows to the lifting stations and the volumes that were assigned to the humid well, it was possible to design the lifting stations and carry out the proposed simulations. The results demonstrate that the lower energy consumption is indicated in the larger diameters and the lower pumping rates. However, the pump operating times become higher as the flow decreases. The emptying of the humid well is more accelerated when larger flows are used. Thus the times between pump drives become smaller and consequently there is an increase in the daily number of pump drives.

PALAVRAS CHAVES: Estação Elevatória de Esgoto; Vazão de Bombeamento; Período de Operação

INTRODUÇÃO

A expansão acentuada do consumo de energia elétrica tem acarretado na busca por sistemas e tecnologias que visem o uso eficiente da eletricidade. Segundo Gomes e Carvalho (2012), o setor de saneamento é responsável por 3% do total de energia consumida no mundo. Se tratando do eixo de abastecimento de água e do eixo de esgotamento sanitário, os equipamentos eletromecânicos das estações elevatórias representam 90% do consumo total de energia.

A ineficiência energética ocasiona gastos desnecessários e está, geralmente, atrelada ao baixo rendimento dos equipamentos utilizados para o bombeamento, inexistência de planejamento e controle dos procedimentos operacionais e ausência de manutenção. O conhecimento sistematizado das tecnologias e sistemas de aproveitamento energético é fundamental para diminuir esta ineficiência e combater os excessos do consumo de energia nas estações elevatórias (Gomes, 2009).

Avaliar os elementos que interferem na demanda de energia é fundamental para o dimensionamento econômico das estações de recalque de esgoto. A verificação da correta vazão de bombeamento é um estudo imprescindível, pois a partir dela é que se estabelece o período médio de operação da bomba. Com base na vazão de bombeamento é que irá avaliar o diâmetro a ser utilizado na linha de recalque. O aumento na vazão de bombeamento ocasiona maiores perdas de carga e acréscimos na energia diária. Porém, quando o projetista espera obter menores tempos de operação das bombas nas estações elevatórias, as vazões mais elevadas são mais favoráveis.

Segundo Gomes (2010), no Brasil, é muito frequente a queima de bombas de estações elevatórias de esgoto sanitário em poucos anos de utilização. As principais causas do problema são a falta de manutenção e a inadequada vazão de bombeamento atrelada à incorreta intercalação de bombas.

O dimensionamento dos condutos do sistema de esgotamento deve ser realizado a partir dos limites de velocidade. A NBR 12208 (ABNT, 1992) informa que a velocidade do efluente na sucção deve estar entre 0,6 e 1,5 m/s e na linha de recalque entre 0,6 e 3,0 m/s. A partir do limite da velocidade na linha de recalque e da vazão de bombeamento é que é escolhido o diâmetro da tubulação de recalque.

A construção de estações elevatórias de esgoto sanitário requer a elaboração de estudos sobre as características do poço úmido como o seu formato e seu volume. Tais propriedades interferem no tempo de detenção do efluente dentro do poço e consequentemente no período diário de operação da bomba, no número de acionamentos e no consumo final de energia elétrica.

Algumas pesquisas já foram realizadas com o intuito de verificar a importância do volume útil do poço de sucção na redução do consumo de energia elétrica. Gomes (2010) comprovou em seu estudo que as bombas de estações elevatórias que possuem maiores poços de sucção apresentam menor tempo de funcionamento e menor número de partidas do motor. Entretanto, apesar do aumento do volume útil do poço úmido estar vinculado à economia de energia, Gomes afirma que o recurso utilizado para construção de um poço de sucção de maior volume não apresenta um bom desempenho no que se refere a custo de energia elétrica levando em consideração o gasto construtivo do poço de sucção.

O tempo de detenção do esgoto sanitário dentro do poço úmido, segundo a NBR 12208 (ABNT, 1992), deve ser o menor possível. A norma técnica não informa um limite mínimo para o tempo de permanência do efluente, recomenda apenas que o tempo máximo não deve ser superior a 30 minutos. Além disso, a norma aborda que eventuais folgas nas dimensões do poço de sucção devem ser eliminadas. Deste modo, utilizar menores volumes para o poço úmido aparenta ser a melhor solução. Por outro lado, a utilização de menores volumes para o poço úmido resulta em tempos de ciclo menores, que são os tempos entre acionamentos do motor, dado pelo somatório dos tempos de enchimento e esvaziamento. Este parâmetro é importante porque durante a partida do motor da bomba é gerada uma determinada quantidade de calor, que deve ser dissipada. Um número excessivo de partidas poderá levar o motor a um superaquecimento (Gomes, 2010).

O presente trabalho tem o objetivo de verificar a influência das características da tubulação

de recalque (diâmetro e comprimento), juntamente com o tempo de funcionamento e o número de acionamentos dos conjuntos motor e bomba, na potência e no consumo final de energia elétrica em elevatórias de esgoto. Para isso, são avaliadas diferentes vazões de bombeamento para duas estações elevatórias hipotéticas com vazões afluentes médias de 8,14 e de 472,6 L/s.

METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em três etapas. A primeira delas corresponde à descrição das configurações que são analisadas, apresentando os dados iniciais para o dimensionamento de duas estações elevatórias. A segunda etapa caracteriza-se pela explicação dos elementos utilizados para o delineamento dos sistemas elevatórios. Por fim, na terceira etapa é desenvolvida a metodologia para análise dos dados.

Descrição das situações analisadas

Para a realização do estudo, foram selecionadas duas configurações fictícias para o uso de estações elevatórias de esgoto sanitário. No primeiro caso, a estação elevatória deve receber pequenas vazões de esgoto e no segundo caso de projeto, os cálculos da estação elevatória consideraram elevadas vazões de esgoto. As duas simulações foram realizadas com o objetivo de observar o efeito do aumento de volume do poço úmido e da vazão de bombeamento.

A estação elevatória do primeiro caso foi avaliada para um período de 20 anos de plano a qual atende uma população de cerca de 5600 pessoas no ano inicial e 7300 pessoas no ano final de plano. Foram consideradas diferentes vazões afluentes à estação de recalque, considerando uma determinada taxa de crescimento.

A partir de uma distribuição horária da vazão afluente foi possível simular a vazão média de cada hora do dia para todos os 20 anos. Neste estudo foram analisados os cenários do primeiro e do último ano do plano. A Figura 1 mostra a distribuição média horária destes dois cenários: ano 1 e ano 20.

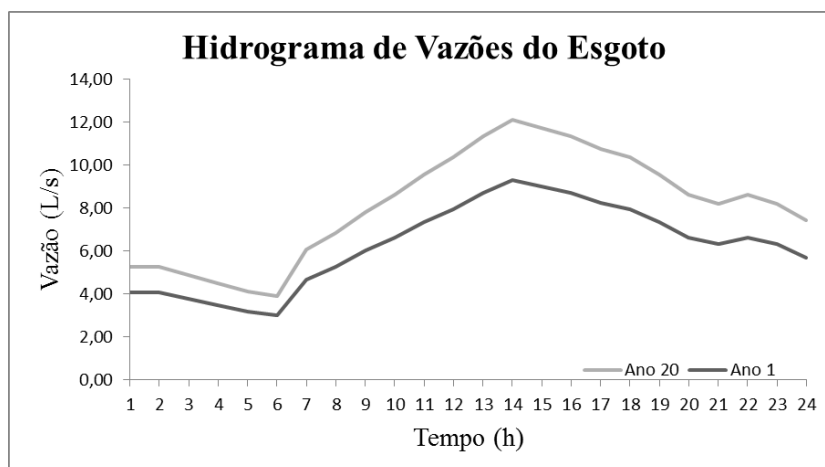


Figura 1.- Hidrograma de vazões do esgoto para a configuração 1

A estação elevatória do segundo caso foi analisada para um único ano, considerando uma população de 175000 habitantes. A vazão média de esgoto sanitário ao longo de um dia foi calculada e multiplicada por coeficientes que representam a distribuição horária da vazão afluente, desse modo foi possível simular a vazão média de cada hora do dia, do mesmo modo que foi calculada a estação elevatória do primeiro caso. A vazão média de esgoto sanitário, juntamente com os coeficientes de variação horária da vazão afluente para esta estação de recalque foram retirados do estudo realizado por Gomes (2010).

Os valores de vazão afluente em cada hora do dia da 2ª estação elevatória de esgoto estão representados na Figura 2.

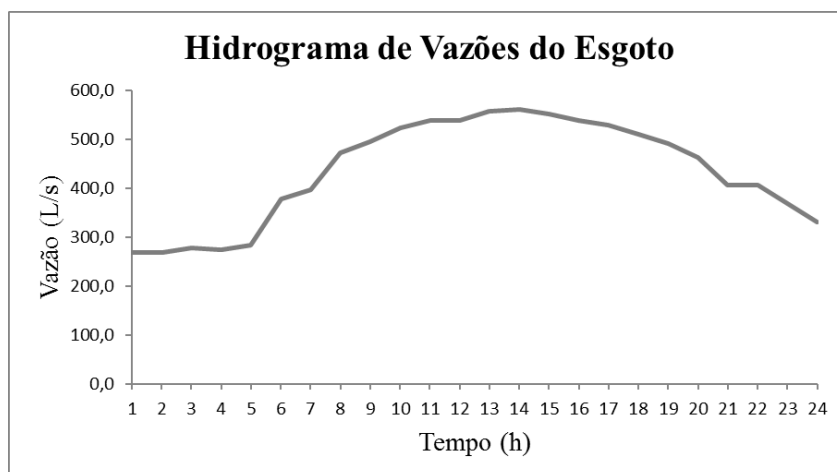


Figura 2.- Hidrograma de vazões do esgoto para a configuração 2

Definição das características do sistema elevatório

O poço úmido é o compartimento destinado a receber e acumular esgotos durante um período de tempo. O volume útil é o volume entre os níveis máximo e mínimo de operação da bomba. Para o dimensionamento dos volumes úteis dos poços úmidos das estações elevatórias foi utilizada a seguinte equação:

$$V_u = A * h \quad [1]$$

Em que V_u é o volume útil do poço úmido; A é a área do poço úmido e h é a altura útil entre os níveis máximo e mínimo. Para a 1ª estação elevatória, o valor do diâmetro do poço úmido para o cálculo da área foi arbitrado em 2,0 m. O valor da altura útil entre os níveis máximo e mínimo foi arbitrado em 1,5 m. Essas dimensões foram obtidas considerando o tempo de detenção máximo recomendado na NBR 12208, que é igual a 30 minutos.

Para a 2ª estação elevatória, foram testados dois volumes para o poço úmido com o objetivo de verificar qual volume apresenta o melhor resultado. O valor do diâmetro para o cálculo da área foi arbitrado em 8,50 m e a altura útil entre os níveis máximo e mínimo foi arbitrada em 2,5 m para o primeiro teste do volume e em 5 m para o segundo teste.

Através do volume útil foi possível calcular o tempo de detenção ($t_{máx}$) do efluente dentro do poço úmido. O tempo de detenção se refere ao período em que a bomba não opera, ou seja, o período de enchimento do poço úmido. Este valor pode ser calculado através da seguinte relação:

$$t_{máx} = \frac{V_u}{Q_{aflu}} \quad [2]$$

Onde Q_{aflu} é a vazão afluenta, que é variável ao longo do dia. Para calcular o período de operação da bomba é necessário avaliar o tempo de descida ou esvaziamento do poço úmido - tempo de funcionamento da bomba (t_d) que pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$t_d = \frac{V_u}{(Q_b - Q_{aflu})} \quad [3]$$

Com o objetivo de avaliar a influência da vazão de bombeamento (Q_b) no período diário de operação da bomba, foram testadas diferentes vazões para cada uma das configurações das estações

elevatórias. As vazões consideradas para a 1ª estação elevatória foram de 14, 16, 17 e 18 L/s. Estes valores foram arbitrados levando em consideração a máxima vazão afluyente à estação de recalque no último ano do plano, e representam vazões entre 1,15 e 1,50 da vazão máxima afluyente no período final.

Para a segunda estação elevatória, as vazões consideradas foram de 650, 700, 800 e 850 L/s. Estes valores também foram arbitrados levando em consideração a máxima vazão afluyente e representam vazões entre 1,15 e 1,50 da vazão máxima afluyente. O número de acionamentos diário da bomba também foi investigado para cada vazão de bombeamento nas duas estações de recalque de esgoto estudadas.

A altura manométrica total (H_m) pode ser calculada através da soma entre a altura geométrica e a perda de carga total. Para as estações elevatórias em estudo, foi considerado um desnível geométrico de 20 m. A perda de carga linear pode ser calculada através da equação de Hazen-Williams:

$$\Delta h_L = \frac{10,65 * Q_b^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}} * L \quad [4]$$

Considerando que o material da tubulação de recalque é de ferro fundido, o coeficiente de rugosidade (C) é 130. Tentando obter o menor consumo de energia, foi modificado o diâmetro (D) da tubulação de recalque, sendo avaliados os valores de 100 e 150 mm para a 1ª estação elevatória, e de 600, 700 e 800 mm para a 2ª estação elevatória, que correspondem a diâmetros compatíveis as velocidades recomendadas na NBR 12208.

O comprimento da tubulação (L) também foi modificado para verificar o incremento na potência e na energia quando a rede tem seu comprimento alterado. Foram considerados os comprimentos de recalque de 50, 100, 200, 500, 1000, 1500 e 2000 m. As variações no comprimento da tubulação foram analisadas apenas para a estação elevatória do primeiro caso. O comprimento da tubulação de recalque da estação elevatória do segundo caso foi fixado em 100 m para a realização do estudo.

A perda de carga localizada foi calculada através da seguinte equação:

$$\Delta h_S = K * \frac{V^2}{2 * g} \quad [5]$$

Os valores da velocidade (V) variaram à medida que as vazões de bombeamento e os diâmetros da tubulação de recalque foram modificados. O coeficiente de singularidade (K) foi determinado em função de diferentes acessórios existentes na tubulação de recalque, como registros, ventosas, mudanças de direção, etc. O valor de K sofreu modificações conforme foi alterado o comprimento da tubulação (L) e o número de acessórios presentes.

Para o cálculo da potência hidráulica foi utilizada a seguinte equação:

$$P = \frac{\gamma * Q_b * H_m}{\eta} \quad [6]$$

Onde P é a potência em W, γ é o peso específico (que foi considerado igual ao da água), Q_b é a vazão de bombeamento, H_m é a altura manométrica e η o rendimento do conjunto motor bomba.

O rendimento do grupo motor bomba (η) para as duas estações elevatórias foi considerado como um valor de referência de 70 %, já que este estudo não contemplou a seleção da bomba. Calculada a potência e o período diário de funcionamento da bomba, foi possível determinar o consumo diário de energia elétrica. Não foram realizados estudos no sentido de otimizar os períodos de funcionamento, observando os períodos de ponta, onde a energia é mais cara, visto que o período de detenção máximo de 30 minutos impede esse tipo de análise. Também não foi analisada a forma

da partida do conjunto motor bomba, apenas o número de partidas e o intervalo entre elas.

O Quadro 1 apresenta um resumo das principais características das duas configurações testadas.

Quadro 1.- Resumo das características das duas configurações dos sistemas elevatórios

		Configuração 1	Configuração 2
Q _{afluméd} (L/s)		8,14	472,6
Q _{aflumáx} (L/s)		12,11	562,4
Q _b simuladas (L/s)		14; 16; 17 e 18	650; 700; 800 e 850
Poço úmido	Diâmetro (m)	2	8,5
	Altura útil entre os níveis (m)	1,5	2,5 e 5
Desnível geométrico (m)		20	20
Diâmetros avaliados (mm)		100 e 150	600; 700 e 800

Metodologia de análise dos dados

Para a 1ª estação elevatória, os valores encontrados para a energia consumida a partir da variação dos diâmetros em 100 e 150 mm foram comparados com o fim de averiguar se o aumento do diâmetro proporciona economia energética.

Para cada vazão de bombeamento, foi verificada a energia consumida juntamente com o tempo de operação da bomba. Estes resultados foram confrontados e analisados com o objetivo de determinar a condição mais vantajosa economicamente para a estação elevatória.

Os incrementos na energia a partir da extensão do comprimento da tubulação de recalque foram plotados em um gráfico para melhor percepção dos resultados.

Para a 2ª estação elevatória, as vazões de bombeamento de 700 e 800 L/s foram empregadas para a análise da importância do correto dimensionamento do volume útil do poço de sucção. Como forma de avaliação, foi calculado o tempo mínimo entre os acionamentos da bomba, o número de acionamentos e a energia consumida para dois volumes diferentes do poço úmido. Os resultados dos dois volumes foram comparados e o volume mais econômico foi utilizado para compor o estudo da variação do diâmetro e da vazão de bombeamento.

A metodologia utilizada para reconhecer qual o diâmetro e qual a vazão de bombeamento que deve ser utilizada para proporcionar maior eficiência energética à 2ª estação elevatória foi a mesma utilizada no primeiro estudo de caso.

RESULTADOS

Os resultados são apresentados individualmente para cada uma das configurações testadas.

Configuração 1 – menores vazões afluentes:

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados de potência, energia consumida, tempo de funcionamento diário e número de acionamentos da bomba, para as quatro vazões de bombeamento testadas, com dois diâmetros alternativos e um único comprimento de recalque, para o 1º ano e o 20º ano de operação, respectivamente.

Tabela 1.- Resultados obtidos para o 1º Ano variando vazão e diâmetro para a elevatória da configuração 1

Ano 1									
Q (L/s)	Dr (mm)	V (m/s)	L (m)	K	P (kW)	E (kWh/dia)	Tempo de Funcionamento no Dia (h)	Nº de Acionamentos da Bomba por Dia	Tempo Mínimo entre Acionamentos da Bomba (min)
14	100	1,53	100	20	4,96	52,73	10,63	58	22,50
14	150	0,70	100	20	4,17	44,33	10,63	58	22,50
16	100	1,75	100	20	5,99	56,01	9,34	65	19,64
16	150	0,80	100	20	4,83	45,10	9,34	65	19,64
17	100	1,86	100	20	6,56	57,47	8,77	68	18,49
17	150	0,85	100	20	5,16	45,25	8,77	68	18,49
18	100	1,96	100	20	7,15	58,94	8,24	71	17,45
18	150	0,90	100	20	5,50	45,36	8,24	71	17,45

Tabela 2.- Resultados obtidos para o 20º Ano variando vazão e diâmetro para a elevatória da configuração 1

Ano 20									
Q (L/s)	Dr (mm)	V (m/s)	L (m)	K	P (kW)	E (kWh/dia)	Tempo de Funcionamento no Dia (h)	Nº de Acionamentos da Bomba por Dia	Tempo Mínimo entre Acionamentos da Bomba (min)
14	100	1,53	100	20	4,96	68,98	13,90	54	22,45
14	150	0,70	100	20	4,17	58,00	13,90	54	22,45
16	100	1,75	100	20	5,99	72,86	12,16	66	19,65
16	150	0,80	100	20	4,83	58,67	12,16	66	19,65
17	100	1,86	100	20	6,56	75,02	11,44	71	18,48
17	150	0,85	100	20	5,16	59,07	11,44	71	18,48
18	100	1,96	100	20	7,15	77,22	10,80	75	17,49
18	150	0,90	100	20	5,50	59,43	10,80	75	17,49

Os resultados encontrados demonstram, como esperado, que o diâmetro de 150 mm apresenta menor consumo de energia do que o diâmetro de 100 mm, para uma mesma vazão, já que a potência necessária é menor. A menor vazão de bombeamento (14 L/s) corresponde a menor potência, no entanto os tempos de operação são maiores. Na análise da energia diária consumida, se verifica que as menores vazões de bombeamento, para um mesmo diâmetro, correspondem as situações mais favoráveis. Um aumento na vazão de bombeamento de $1,15Q_{aflum\acute{a}x}$ para $1,50Q_{aflum\acute{a}x}$ resultou em incrementos de energia diária consumida entre 2,3% e 11,9%, enquanto o tempo de bombeamento reduz em cerca de 22%. Para o maior diâmetro de recalque selecionado, as variações da energia foram menos pronunciadas. O tempo mínimo entre duas partidas consecutivas da bomba reflete na quantidade de vezes que a mesma é acionada durante o dia. Maiores vazões de bombeamento possuem menores tempos entre partidas e consequentemente o número diário de acionamentos da bomba para estas vazões é maior.

Conforme o comprimento da tubulação de recalque é alterado, a energia consumida também sofre modificações. Os resultados das variações da energia são apresentados na Figura 3, tanto para o primeiro, como para o último ano do plano. Pode-se observar que, para os casos simulados, o efeito o consumo de energia começa a ser significativo com o aumento da vazão quando a relação entre o comprimento e o desnível geométrico é acima de 10 ($L/Hg \geq 10$). Na situação ensaiada, isto pode ser observado em comprimentos da tubulação de recalque superiores a 200 m.

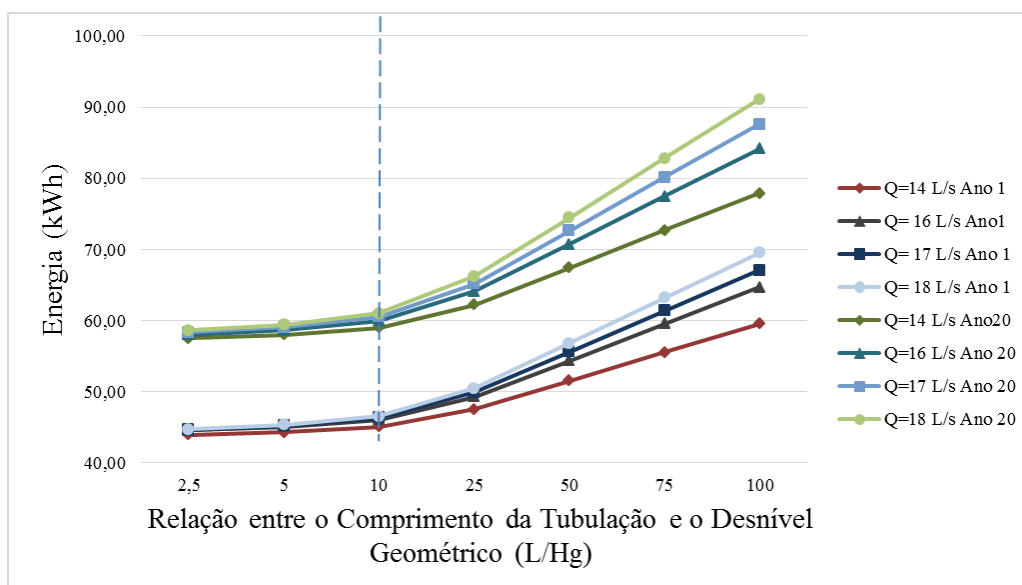


Figura 3.- Energia diária para as diferentes vazões de bombeamento a partir da relação entre o comprimento da tubulação de recalque e o desnível geométrico para a configuração 1

Considerando o comprimento de recalque de 50 m, os resultados mostram que o aumento desse comprimento em 2, 4, 10, 20, 30 e 40 vezes, implicam em valores de energia diária consumida 0,9; 2,6; 8,3; 17,3; 26,4 e 35,5% superiores, respectivamente para a vazão de 14 L/s. Para a vazão de 16 L/s os resultados encontrados foram 1,1; 3,3; 10,5; 22; 33,5 e 45% superiores à energia consumida com o comprimento de 50 m. A vazão de 17 L/s teve sua energia acrescida em cerca de 1,2; 3,7; 11,7; 24,5; 37,3 e 50% considerando a tubulação de recalque de 50 m. O incremento na energia diária consumida para a vazão de 18 L/s foi de 1,4; 4,1; 12,9; 27; 41,3 e 55,3%.

Configuração 2 – maiores vazões afluentes:

Para o dimensionamento da 2ª estação elevatória foram considerados dois volumes: 141,9 m³ e 283,7 m³. O segundo volume (283,7 m³) foi retirado do estudo efetuado por Gomes (2010). Esta análise foi realizada com o objetivo de verificar a importância do volume útil do poço de sucção na redução do consumo de energia elétrica. Na Tabela 3 são apresentados os resultados de potência, energia consumida, tempo de funcionamento diário e número de acionamentos da bomba, para os dois volumes analisados, considerando as vazões de bombeamento de 700 e 800 L/s.

Tabela 3.- Resultados obtidos para os dois volumes testados para a elevatória da configuração 2

Q (L/s)	Volume (m³)	Dr (mm)	V (m/s)	L (m)	K	P (kW)	E (kWh/dia)	Tempo de Funcionamento no Dia (h)	Nº de Acionamentos da Bomba por Dia	Tempo Mínimo entre Acionamentos da Bomba (min)
700	141,86	600	2,32	100	20	261,83	3899,61	14,89	91	13,55
700	283,73	600	2,32	100	20	261,83	3886,86	14,85	45	27,10
800	141,86	600	2,65	100	20	320,66	4175,97	13,02	113	11,82
800	283,73	600	2,65	100	20	320,66	4172,98	13,01	56	23,65

Como pode ser analisado na Tabela acima, os resultados obtidos demonstram que a variação do volume do poço úmido altera a energia elétrica consumida e o número de acionamentos da bomba. O volume menor apresenta um pequeno acréscimo na energia consumida e o número de acionamentos da bomba aumenta em cerca de 100% em relação ao poço de maior volume. A diferença entre os tempos mínimos entre duas partidas consecutivas da bomba é bem pronunciada conforme o volume do poço é alterado. Do mesmo modo que o número de acionamentos, o tempo mínimo entre partidas da bomba aumenta em cerca de 100% do menor para o maior volume.

Como a variação da energia consumida, considerando os dois volumes do poço úmido, é baixa, as análises da variação da vazão de bombeamento e do diâmetro foram efetuadas a partir do menor volume: 141,9 m³, que representa a alternativa claramente mais econômica. Na Tabela 4 são apresentados os resultados de potência, energia consumida, tempo de funcionamento diário e número de acionamentos da bomba, para as quatro vazões de bombeamento testadas, com três diâmetros alternativos e um comprimento de recalque.

Tabela 4.- Resultados obtidos variando vazão e diâmetro para a elevatória da configuração 2, com volume do poço constante igual a 141,9 m³

Q (L/s)	Dr (mm)	V (m/s)	L (m)	K	P (kW)	E (kWh/dia)	Tempo de Funcionamento no Dia (h)	Nº de Acionamentos da Bomba por Dia	Tempo Mínimo entre Acionamentos da Bomba (min)
650	600	2,16	100	20	235,28	3788,88	16,10	78	14,55
650	700	1,59	100	20	212,34	3419,50	16,10	78	14,55
650	800	1,22	100	20	201,18	3239,84	16,10	78	14,55
700	600	2,32	100	20	261,83	3899,61	14,89	91	13,55
700	700	1,71	100	20	233,22	3473,52	14,89	91	13,55
700	800	1,31	100	20	219,30	3266,25	14,89	91	13,55
800	600	2,65	100	20	320,66	4175,97	13,02	113	11,82
800	700	1,96	100	20	278,06	3621,19	13,02	113	11,82
800	800	1,50	100	20	257,33	3351,26	13,02	113	11,82
850	600	2,82	100	20	353,20	4324,32	12,24	121	11,15
850	700	2,08	100	20	302,16	3699,44	12,24	121	11,15
850	800	1,59	100	20	277,33	3395,35	12,24	121	11,15

Os resultados encontrados demonstram, da mesma forma que na 1ª Estação Elevatória, que o diâmetro maior (800 mm) apresenta menor consumo de energia do que o diâmetro menor (600 mm), para uma mesma vazão, já que a potência necessária é menor. A menor vazão de bombeamento (650 L/s) corresponde a menor potência, no entanto os tempos de operação são maiores. Na análise da energia diária consumida, se verifica que as menores vazões de bombeamento, para um mesmo diâmetro, correspondem as situações mais favoráveis. Um aumento na vazão de bombeamento de aproximadamente $1,15Q_{aflumáx}$ para $1,50Q_{aflumáx}$ resultou em incrementos de energia diária consumida entre 2,9% e 14,1%, enquanto o tempo de bombeamento reduz em cerca de 24%.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos para as duas configurações testadas permite que sejam, quando comparadas, verificados alguns comportamentos comuns, embora se tratem de duas situações bastante diversas quanto a magnitude das descargas envolvidas.

A análise do diâmetro utilizado na tubulação de recalque conduziu a menores consumos de energia associados aos maiores diâmetros. Como não foi realizada uma análise dos custos da instalação, não podem ser apontados diâmetros ideais com vistas a menores custos globais. Sendo a análise focada no consumo energético, a indicação recai sobre os maiores diâmetros, que representam para uma determinada vazão e comprimento de tubulação os menores custos com a energia.

A análise do comprimento da tubulação não é um item que poderia ser otimizado em um estudo de eficiência energética, já que depende do local de instalação da elevatória e ponto de encaminhamento dos efluentes. No entanto, a análise dos vários comprimentos permite estabelecer uma sensibilidade sobre o efeito desta grandeza no consumo de energia. Para a condução de uma mesma vazão afluente, variações no comprimento de recalque de 40 vezes resultaram no aumento

da energia consumida em até 55%.

Para a definição da vazão de bombeamento, parte-se do princípio que esta deve ser superior a máxima vazão que ocorre durante o período de pico diário, para que neste momento seja ainda possível o esvaziamento do poço úmido e o atendimento do requisito do tempo de detenção máximo de 30 minutos. Foram testadas vazões de bombeamento entre $1,15Q_{aflumáx}$ e $1,50Q_{aflumáx}$. Para as maiores vazões de bombeamento o processo de esvaziamento é mais rápido, a bomba funciona por menores períodos, porém há um aumento no número de acionamentos e o tempo entre acionamentos se torna mais curto. Comparando o desempenho dos sistemas com as vazões de bombeamento de $1,15Q_{aflumáx}$ e $1,50Q_{aflumáx}$, tem-se que para a maior vazão o tempo de bombeamento diário e o tempo mínimo entre acionamentos reduzem cerca de 24%, há um aumento de aproximadamente 55% do número de acionamentos diário e a energia consumida aumenta entre 3% e 14%.

A análise no volume do poço úmido, para os casos testados, indicou que há pouca influência na energia consumida pela variação deste volume. No entanto, com a redução do volume do poço úmido, há um aumento no número de acionamentos diário e redução entre tempos de partida. Para as análises realizadas, diminuindo o volume pela metade, tem-se uma redução na mesma proporção nos tempos entre partidas e duplicação do número de acionamentos diários, consequentemente. O tempo de operação diário não se altera de forma significativa com a variação do volume do poço úmido, considerando uma mesma vazão de bombeamento.

As avaliações realizadas neste trabalho, indicaram que independente da magnitude da estação elevatória em questão, tem-se um mesmo padrão de impactos em termos de energia consumida, números de acionamentos e tempos entre partidas para elevatórias de esgotamento sanitário, considerando alterações nas vazões de bombeamento, no comprimento da tubulação de recalque e no volume do poço úmido.

Ressalta-se que estes resultados são preliminares e que, em próximos estudos, devem ser considerados outros diâmetros, outras curvas de demanda, assim como a inclusão dos custos de implantação e de manutenção, além dos custos de energia, para que as conclusões possam apontar alternativas economicamente mais eficientes, não somente sob o ponto de vista energético. Também se recomenda que investigações considerando o tempo mínimo entre partidas sejam realizadas, buscando informações junto aos fabricantes dos conjuntos motor bomba.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro parcial da CAPES – Brasil, do CNPq e da Propesq/UFRGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12208: Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

Gomes, D. M. (2010). Importância do Volume Útil do Poço de Sucção na Redução do Consumo de Energia Elétrica em Estação Elevatória de Esgoto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pará. Belém (PA), p. 182.

Gomes, H. P. (2009). *Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética*. João Pessoa: Editora Universitária-UFPB, 2009.

Gomes, H. P.; Carvalho, P. S. O. (2012). *Manual de Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética*. João Pessoa: Editora Universitária-UFPB, 2012.